

大分県立看護科学大学大学院

氏 名	亀井 修 <small>かめい おさむ</small>
学位の種類	博士（健康科学）
学位記番号	第 11 号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 18 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者 看護学研究科健康科学専攻
学位論文名	CT 検査における個人の体型を反映した被ばく線量評価法の開発 Development of dose-evaluation methods in CT examinations with considering individual physical size.
指導教員	甲斐 倫明教授(主) 小嶋 光明講師(副)
論文審査委員	主査：佐伯圭一郎教授 副主査：品川佳満准教授・前田徹県立病院副院長

論文内容の要旨

【目的】CT 装置の利用が進む中、被ばく線量の増加が危惧されている。そこで、CT 検査時における人体臓器の被ばく線量を推定するために、モンテカルロ法を利用した、ImPACT 法や CT-EXPO 法が開発され利用されて来た。しかし、このツールにおける線量評価は欧米人の体格における線量であり、体格の小さい日本人の場合には線量推定値に誤差を生じると考えられる。また、使用するファントムは数式で作成された体型であり、実際の人体の臓器に対しての線量評価ではない。

日本においては、大分県立看護科学大学と日本原子力研究開発機構で共同開発された WAZA-ARI という線量計算 Web システムが実用化されている。このシステムでは日本人の標準体型での線量評価を行うため、日本原子力研究開発機構において開発された、「JM-103」、「JF-103」など、より日本人の標準体型に近づけたボクセルファントムを使用して、PHITS コードによるモンテカルロ法を利用した臓器の線量評価を行っている。使用した日本人の標準体型は、男性は身長 171cm、体重 65kg (JM-103)、また女性は身長 155cm、体重 52kg (JF-103) である。しかしながらこの WAZA-ARI における推定線量においても標準体型における臓器線量の評価であり、実際の臨床における個別の体型を反映した線量評価ではない。したがって正確な臓器線量を算定するためには、JM および JF ファントムと実際の体型との差から生ずる誤差を補正する方法の開発が必要である。そこで、本研究では、これまで研究されてきた WAZA-ARI などの研究成果をふまえて、臨床で遭遇する日本人の一般的な体型において、臓器線量の補正方法を開発することを目的としている。

【研究 1】臨床 CT 検査データから、JM、JF ファントムと同等な体型および痩せ形、太り型の体型を有する、男性 11 体、女性 10 体を無作為に選び、それらの体型（AP、LAT、周囲長など）を自作の CT データボクセル変換ツールの体型計測機能を使用して計測した。人体の体型調査については、これまで多くの研究がなされており、従来から体重と AP、LAT、周囲長等の関係の比較がなされている。本研究では、それらの方法以外にも、BMI や有効直径（ED）という指標を算定し、それらの数値との関係を調べた。また、臨床データから肺、心臓、胃、肝臓、胆のう、腎臓、膵臓、脾臓、膀胱、子宮などの各臓器の体積を計測し、体重との関係を分析した。その結果、男性の場合、臓器と体重の間に有意な関係性は認められなかった。しかし、女性の場合いくつかの臓器（胆のう、腎臓、脾臓、膀胱）において、体重と臓器体積の間に一定の関係性が認められた。

【研究 2】本研究の最終目標である体型の違いによる線量評価は、PHITS コード上で、CT 装置を構築し、更に前述した臨床データから作成した人体ボクセルファントムに対して X 線照射を行うシミュレーションを実施して、人体の各臓器の被ばく線量の推定を行った。これらの調査および実験による結果として、成人日本人男女の体型の特徴から、日本人標準である JM、JF ファントムと臨床データから、有効直径(ED)と CT 検査時の臓器線量との関係性を明らかにすることができた。また、JM、JF ファントムの臓器線量の値と臨床データの臓器線量の比較を行い、日本人標準である JM、JF ファントムの臓器線量がもつ個人体型の違いがもたらす誤差の推定を行うことができた。

【結論】本研究の結果、JM、JF ファントムと体型の異なる臨床における被検者の CT 検査時の、臓器被ばく線量を±10%以内で推定することが可能であることを示した。男女の体型は異なるが、臓器線量と有効直径との関係は、男女の違いは有意なものではないため、臓器線量を推定する際には、有効直径を用いて標準ファントムの臓器線量に対して男女同一の補正式を利用することができると示した。

Abstract

【Objective】 In this study, it aims to develop correction coefficients for estimating organ doses to patients of any size attended to daily clinical practice. These results can be used for computer tomography (CT) dose calculators such as WAZA-ARI.

【Study 1】 We randomly selected 11 males and 10 females from the clinical data with different body size from the average Japanese size like the JM and JF phantom. The body size can be characterized by AP, LAT and perimeter measured by using a voxel-conversion tool for CT image data. Since there are a number of studies for categorization of human body types so far, the relation with weight, AP, LAT, and perimeter has been already compared. This study calculated the indexes called BMI and effective diameter (ED) for each patient other than previous methods, and then examined the relation of those calculated values with organ sizes. Furthermore, this study also measured the volume of each organ from the clinical data such as lung, heart, stomach, liver, gallbladder, kidney, pancreas, spleen, urinary bladder, and womb, and analyzed their relations with body weights. As a result, no significant relation was observed between organs volumes and body weights in males. In females, however, a statistically significant relation was observed between body weights and organ volumes only in several organs, gallbladder, kidney, spleen, and urinary bladder.

【Study 2】 Calculation of organ doses was conducted by the Monte-Carlo simulations using a PHITS code where X-ray was irradiated against human voxel phantoms by structuring a quasi-CT scanner. As the results of the Monte-Carlo simulations, we analyzed the relation between organ doses and ED in JM, JF and patient phantoms, and obtained the equations for predicting patient-specific organ doses using ED. In addition, we compared patient-specific organ doses with the ED-modified organ doses given by the WAZA-ARI that uses the JM and JF phantoms with average Japanese sizes. The difference in males was approximately 10% in the stomach and less than 7% in other organs. The ED-based equation by combining males and females provided a better agreement with the average errors of -4.8% in females and -6.2% in males. However, in some cases, ED-based prediction was inconsistent with patient-specific organ doses, particular in heart and stomach. It was found that the size of the lung largely influenced x-ray transport and consequently the organ doses departed from the ED-based prediction.

【Conclusion】 This study provided how to patient-specific organ doses from adult body CT scans for a patient with the different body size from JM and JM phantom with an error of $\pm 10\%$ or lower.

論文審査の結果の要旨

CT検査時の被ばく線量の評価法を改善するため、人体の標準的な数値モデル（ファントム）を用いる従来のコンピュータシミュレーションによる推定値に対して個人の体型の差異による補正を試みた研究である。医療被ばくに関する議論の前提として、患者個人の被ばく線量を精密に評価することは重要であり、本研究の目指すものの意義は大きい。本論文の中心は、様々な体型のファントムを用い、PHITSコードによる被ばく線量推定値と体型を代表する身体計測項目群との関連を回帰分析で解析することで、患者胸腹部の有効直径を用いた補正方法がもっとも有効であることを示した部分である。また、その前段階となる様々な体型を持つ男女計21名のCT画像を解析し、臓器の種別や位置を数値データに変換し、シミュレーション用のファントムを構築する部分は、多大な時間を要する労作であるとともに、臓器の位置や大きさのデータとその分析としても興味深いものである。

今後は、研究成果の臨床における検査時の被ばく線量記録システムへの導入と、体型データ数値化の手法をさらに改善し、体型データを追加することによる個人被ばく線量推定の更なる精度向上を期待するものであるが、この研究論文での成果は、本学の健康科学専攻博士後期課程の学位論文として十分に相応しいものと判断する。